

Über die grosse Überschiebung im skandinavischen Faltengebirge.

Von A. E. Törnebohm.

Schon bei den ersten geologischen Übersichtsreisen, die zu Ende der sechziger Jahre in den Hochgebirgsgegenden Schwedens vorgenommen worden sind, hat es sich herausgestellt, daß bedeutende von Quarziten und kristallinen Schiefen (sogenannten Åreschiefern) aufgebaute Gebirgsmassen auf einer Unterlage von Silur ruhen, und zwar mit ganz flacher Überlagerung.

So auffallend dieses Verhältnis auch war, wurde jedoch in der um diese Zeit herkömmlichen Weise die Lagerungsfolge als der Altersfolge entsprechend angenommen; es wurden folglich die genannten mächtigen und weitverbreiteten Bildungen von Quarziten und kristallinen Schiefen als spätsilurisch oder gar postsilurisch aufgefaßt. Von Törnebohm, der im Jahre 1872 die ersten Mitteilungen hierüber veröffentlicht hat, sind sie unter dem Namen „die Sevegruppe“ beschrieben worden.

Zu ähnlichen Resultaten wie auf der schwedischen Seite der skandinavischen Halbinsel war man schon früher in den norwegischen Hochgebirgsgegenden gelangt. Auf einer schon 1866 veröffentlichten Karte über einen bedeutenden Teil des südlichen Norwegens hatte Kjerulf unter dem Namen „Hochgebirgsquarzit und Schiefer“ eine große aus Quarzit und kristallinen Schiefen bestehende Formationsgruppe als postcambrisch ausgeschieden, weil sie über Phylliten lagert, die schon damals durch einzelne Fossilfunde als zum Teil dem Cambrium angehörig hatten bestimmt werden können. Durch weitere Fossilfunde ist es nunmehr dargelegt, daß die Hauptmasse jener Phyllite dem Silur zuzurechnen ist.

Die Übereinstimmung zwischen den in Schweden und in Norwegen gewonnenen Resultaten schien also recht befriedigend zu sein; die Sevegruppe in Schweden und die Gruppe des Hochgebirgsquarzits in Norwegen konnten ja sowohl in petrographischer als in stratigraphischer

Hinsicht ungezwungen einander gleichgestellt werden. Als die Karten beiderseits der Reichsgrenze aneinander gelegt wurden, ergab es sich aber, daß sich die Sevegruppe aus Schweden wohl über die Reichsgrenze nach Norwegen hinein erstreckt, daß sie dort aber auf Grund ihres Verhaltens zu hier und da vorkommenden Partien von versteinierungsführendem Silur für präsilurisch gehalten und als der präsilurischen Sparagmitformation zugehörig aufgefaßt worden war. Der Hochgebirgsquarzit Kjerulfs dagegen reichte gegen Osten nicht bis an die Reichsgrenze. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß sich diese Formation nach Kjerulfs eigenem Geständnis von gewissen petrographisch ganz ähnlichen, aber sicher der präcambrischen Sparagmitformation angehörigen Ablagerungen nicht scharf abgrenzen ließ.

So war die Lage der skandinavischen Hochgebirgsfrage im Jahre 1873, nachdem Törnebohm die erste geologische Übersichtskarte eines kleinen Teiles des schwedischen Hochgebirges veröffentlicht hatte. In den nächsten zehn Jahren wurden zwar hin und wieder geologische Streifzüge in den schwedischen Hochgebirgsgegenden von mehreren Geologen vorgenommen und dabei die älteren Beobachtungen bestätigt; die erwähnten geologischen Widersprüche wurden aber ihrer Lösung nicht genähert.

Im Jahre 1882 nahm Törnebohm seine Arbeit in den Hochgebirgsgegenden wieder auf mit dem Bestreben, die Lösung des Hochgebirgsproblems zu finden. Es galt da vor allem, über das wirkliche Alter der kristallinischen Schiefer Åreskutans (der sogenannten „Åreschiefer“), die das Silur so unzweideutig überlagern, Klarheit zu gewinnen. Diese Schiefer können in drei Hauptglieder gesondert werden, nämlich — von unten nach oben — Glimmerschiefer, Hornblendschiefer und brauner Glimmergneis. Petrographisch ziemlich ähnliche Gesteine waren innerhalb des metamorphischen Silurs des Trondhjemergebietes bekannt; konnten sie aber auch geognostisch mit ihnen parallelisiert werden? Das war die Frage.

Um diese Frage beantworten zu können, wurde eine ziemlich durchgreifende Revision des großen Trondhjemer Silurgebietes und seiner Umgegend vorgenommen, eine Revision, die mehrere Sommer in Anspruch nahm. Als Endresultat ergab sich, daß nichts innerhalb des genannten Silurgebietes den Åreschiefern gleichgestellt werden konnte, daß sich aber am Westrande jenes Gebietes, zwischen dem Silur und dem Urgebirge, eine Formation vorfand, die nicht nur nach ihrer petrographischen Beschaffenheit, sondern auch nach ihrer Gliederung die allergrößte Übereinstimmung mit den Åreschiefern aufwies. Als diese beiden Schieferformationen — die eine im Osten, die andere im Westen des Trondhjemer Gebietes — weiter verfolgt wurden, stellte

es sich auch heraus, daß sie zusammen eine fast ununterbrochene Umsäumung rund um das Trondhjemer Silurgebiet bilden; es war da nicht mehr möglich, ihre Zusammengehörigkeit zu bezweifeln. Die erwähnten kristallinen Schiefer am Westrande des Trondhjemer Beckens sind aber ganz entschieden älter als alles Silur und da konnte die Schlußfolgerung nicht abgewiesen werden, daß die Auflagerung der Åreschiefer auf dem Silur anormal sein mußte. Zugleich war es auch klar, daß die Åreschiefer, der Hochgebirgsquarzit und die Sparagmitformation zusammen eine große präcambrische Formationsgruppe bilden. Auf diese wurde nun der Name „Sevegruppe“ übertragen.

Das Vorhandensein einer bedeutenden Überschiebung war somit festgestellt; die nächste Aufgabe war nun, ihre Größe und Ausdehnung zu erforschen. Diese Arbeit wurde zuerst auf der Strecke vom Rondernegebirge in Norwegen gegen Nordosten bis in den nördlichen Teil der Provinz Jemtland in Schweden, einer Strecke von beinahe 400 *km* Länge, vorgenommen. Diese Arbeit erforderte wiederum mehrere Sommer. Wie zu erwarten war, stellte es sich dabei heraus, daß mehrere Überschiebungen hintereinander vorhanden sind; eine davon ist jedoch die weitaus größte und nur diese soll hier betrachtet werden.

Wie aus der beigegebenen Karte am besten zu ersehen ist, bildet die überschobene Partie eine breite Zone östlich vom Trondhjemer Silurgebiete. Die ursprüngliche Breite dieser Zone oder Scholle mit abnormer Auflagerung kann nicht auf weniger als 100—130 *km* geschätzt werden. Jetzt ist sie durch die Einwirkung denudierender Kräfte stark angefressen; ihr Rand ist ausgenagt, einzelne Partien sind von der Hauptmasse abgesondert worden und liegen jetzt wie eine Inselreihe an einer Küste da. Der Hauptrest der Scholle ist an einigen Punkten durchlöchert, und zwar besonders dort, wo sich im Untergrunde Erhöhungen von recht festen und widerstandsfähigen Gesteinsmassen, hauptsächlich Porphyren, vorfanden. So zum Beispiel westlich vom Åreskutan und südlich vom Sylarnegebirge an der Reichsgrenze.

Die Hauptmasse der Scholle wird aus Gesteinen der Sevegruppe gebildet. An ihrem Ostrande sind jedoch häufig große Partien von Urgesteinen, meistens stark ausgewalzten Graniten, beteiligt und in ihrem Innern finden sich hin und wieder Gebiete von Schiefer, die etwas jünger als die Sevegruppe sind. Die Unterlage der Scholle ist sehr wechselnd, bald Schichten des Unter- oder Obersilurs, bald Gesteine der Sevegruppe, die sich von jenen in der Scholle durch den geringen Grad ihrer mechanischen Umformung in auffallender Weise unterscheiden, bald auch dem Urgebirge angehörige Granite und Porphyre.

Meistens ist der Felsgrund zu sehr bedeckt, um die feineren Züge der Tektonik erkennen zu lassen. In den erwähnten, durch die Denudation abgesonderten Partien läßt sich jedoch mitunter der geologische Bau recht gut studieren. Ein paar Beispiele mögen vorgeführt werden.

Am Südrande der Partie nördlich von Offerdal sieht man Conglomerate und Quarzitschiefer der Sevegruppe in flacher Lagerung über das gegen Osten stark überfaltete Silur. Die Gerölle der Conglomerate bestehen vorwiegend aus Porphyren und Quarziten; solche von silurischen Gesteinen wurden vergebens gesucht. Einen sehr verwickelten Bau hat die Partie östlich von Koppang in Norwegen (zwischen Österdalen und Rendalen). Über Sparagmit mit eingekneteten Schmitzen von Alaunschiefer (mit *Agnostus*) liegt hier die Scholle, die zu unterst aus stark ausgewalztem Sparagmit und sogenanntem Augengneis (verschiefertem Porphyrgnit) besteht. Dann folgt Sparagmitschiefer von bedeutender Mächtigkeit und zu oberst wieder Augengneis. Diese Verhältnisse werden als Reste einer liegenden Schlinge gedeutet.

Am Ostrande der Scholle ist der petrographische Unterschied zwischen ihr und der Unterlage oft auffallend groß, da im Aufbau der Scholle Gesteine beteiligt sind, die in normaler Lagerung erst 100 km westlicher zu finden sind. Je weiter man aber gegen Westen fortschreitet, desto geringer wird dieser Unterschied; zuletzt verschwindet er vollständig und gleichzeitig biegt die vorher flach liegende Parallelstruktur der Scholle gegen die Tiefe ein. Hier dürfte wohl die Wurzellinie der Überschiebung zu finden sein. (Siehe die nebenstehende Karte.)

Von den jetzt besprochenen Gegenden im zentralen Skandinavien, wo das Überschiebungsphänomen zuerst beobachtet und näher studiert worden ist, ist die Überschiebungszone später weiter verfolgt worden sowohl gegen Norden als gegen Südwesten.

Durch die Arbeiten mehrerer schwedischen Geologen ist es nunmehr festgestellt, daß sich längs dem Ostrande des skandinavischen Gebirges bis in den nördlichsten Teil Schwedens analoge Verhältnisse vorfinden wie jene im zentralen Skandinavien. Als Beleg hierfür mag das Profil längs dem Südufer des Tornesees dienen, wo die neue Eisenbahn nach dem Ofotenfjord in Norwegen die Gebirgskette überschreitet. Über wenig veränderten Graniten liegen hier Silurschichten, die den Fossilfunden entsprechend wenigstens bis in die Mitte des Untersilurs hinaufreichen. Sie werden mit flacher Überlagerung von arg gequetschten Graniten bedeckt, auf denen eine etwa 800 bis 900 m mächtige Schieferserie liegt. In den östlich von der Überschiebungszone gelegenen Gegenden findet sich keine ähnliche, aber westlich

davon hat eine solche große Verbreitung und erweist sich dort als präcambrisch. Eine mächtige, von präcambrischen Gesteinen und alten Graniten zusammengesetzte Scholle liegt also hier flach auf dem Untersilur. Das Ausmaß der Überschiebung hat nicht genau bestimmt werden können; es dürfte aber wenigstens 20 bis 25 *km* betragen. Diese ist jedoch allem Anschein nach nicht die größte Überschiebung in jenen Gegenden, denn in den höchsten Gebirgen finden sich hier vereinzelt Schollen von stark ausgewalzten Gesteinen, die jedenfalls Reste einer anderen überschobenen Partie sind, deren Wurzellinie westlich von der norwegischen Grenze zu suchen sein dürfte.

In den Gegenden südwestlich vom zentralen Skandinavien ist durch die Arbeiten mehrerer norwegischen Geologen, namentlich Reusch, Björlykke und Rekestad, erwiesen worden, daß auch hier große Schollen von stark gepreßten Quarziten und Graniten flach auf silurischem Phyllit ruhen. Am Südwestende des Gebirges tritt sogar die unerwartete Erscheinung entgegen, daß sich diese anormale Überlagerung quer durch die ganze Zentralzone erstreckt. Es sieht hier aus, als ob das ganze Gebirge eine große überschobene Masse wäre und eine solche Ansicht ist auch von Björlykke ausgesprochen worden. Mehrere Verhältnisse, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, scheinen jedoch gegen eine solche Auffassung zu sprechen; es dürfte — vorderhand wenigstens — wahrscheinlicher sein, daß bei der Entstehung der erwähnten abnormen Überlagerung ein im Sinne der Längsachse der Gebirgskette wirkender Druck mitgespielt hat.

Auch am Südwestende des skandinavischen Gebirges ist die überschobene Scholle stark zernagt und zerteilt. Größere und kleinere Reste liegen in oft bedeutenden Abständen von der Hauptmasse zerstreut. Als ein solcher Rest, der durch eine muldenförmige Einfaltung geschützt geblieben ist, dürfte die bei Bergen zwischen zwei synklinalen Zonen von Silur eingeklemmte Partie von Quarziten und gepreßten Graniten aufzufassen sein.

An der Westseite des skandinavischen Kettengebirges kommen selten wirkliche Überschiebungen, oft aber starke Überfaltungen vor, und zwar in entgegengesetztem Sinne zu jenen an der Ostseite. Profile quer durch das Gebirge zeigen daher eine Fächerstruktur, die jedoch an verschiedenen Strecken von wesentlich verschiedenem Bau ist, indem die Mittelpartie bald von den jüngsten Lagern (Obersilur) gebildet wird, wie zum Beispiel im Trondhjemer Becken, bald von Urgesteinen, an deren Seiten Silurlager eingeklemmt sind. So scheint es der Fall im Jotungebirge zu sein. Dieser Unterschied dürfte auf einer ursprünglichen Verschiedenheit des von der Faltung betroffenen Berg-

grundes beruhen. Das Jotungebirge war allem Anschein nach nie vom Silur überdeckt; es ragte inselartig aus dem Silurmeere heraus und während der Periode der Gebirgsbildung leisteten seine massigen Urgesteine den faltenden Kräften einen starken Widerstand. Mit den mächtigen, aber wenig festen Silurablagerungen des Trondhjemer Beckens hatten jene Kräfte dagegen ein leichteres Spiel.

Die Faltungsperiode scheint schon während der späteren Silurzeit angefangen zu haben und dauerte in die Devonzeit und vielleicht noch länger fort. Wann sie zum Abschluß kam, läßt sich nicht näher bestimmen, da die jüngsten in unseren Gegenden vorkommenden Gesteine — auch fossilfreie — auf Grund ihrer Lagerungsverhältnisse wahrscheinlich devonische Sandsteine sind. Auch sie haben sowohl Faltung als Regionalmetamorphismus erlitten, aber in ihren Conglomeraten finden sich Gerölle von gepreßten und metamorphosierten Silurgesteinen und dies beweist, daß die Faltung schon vor der Ablagerung dieser Sandsteine ihren Anfang genommen hatte. Die eigentliche Überschiebung aber ist wohl erst gegen das Ende der Faltungsperiode eingetreten und dürfte also nicht früher als in devonischer Zeit begonnen haben. Sicher dauerte sie durch lange Perioden fort; wann der endliche Ruhestand eintrat, kann aber — wie gesagt — nicht einmal annähernd festgestellt werden.

Mehrere Umstände deuten darauf hin, daß die Oberfläche, über die die Scholle bewegt wurde, recht uneben war. So zum Beispiel läßt sich die Einwirkung einiger aus dem Untergrunde noch herausragenden Berge auf den Grad der Deformation der Schollengesteine deutlich erkennen. Auch das sehr wechselnde Auftreten der Friktionsgesteine, die aus dem erhärteten Friktionsbrei entstanden, der durch die Reibung zwischen der Scholle und ihrer Unterlage gebildet wurde, läßt auf bedeutende Unebenheiten der letzteren schließen. Diese Gesteine — die sich häufig gar nicht petrographisch bestimmen lassen — sind nämlich bald sehr schwach, bald als bedeutende Massen von mehr als 50 *m* Mächtigkeit entwickelt, je nachdem sie sich an der Stoßseite oder an der Leeseite aus dem Untergrunde herausragender Gesteinsmassen befinden.

Im Verhältnis zu ihrer Ausdehnung ist die Dicke der Scholle sehr gering, höchstens 1400 bis 1600 *m*, in der Regel jedoch bedeutend weniger. Die jetzige Dicke ist aber gewiß nur ein Bruchteil der ursprünglichen, denn auf den höchsten Gipfeln der Berge findet man mitunter Gesteine, die durch ihre hochgradige mechanische Deformation deutlich bekunden, daß sie einst von gewaltigen Gesteinsmassen bedeckt waren.

Über den Mechanismus der Überschiebungsbewegung läßt sich

gegenwärtig nichts Näheres aussagen. Die bis jetzt gemachten Untersuchungen zielten zunächst darauf hin, das Vorhandensein und die Ausdehnung der Überschiebung festzustellen. Dies ist jetzt auf einer Strecke von etwa 1200 *km* geschehen. Ein näheres Studium der Überschiebungstektonik hat noch nicht vorgenommen werden können und dürfte in den unwirtsamen und wesentlich von versteinungsleeren und noch dazu selten gut aufgeschlossenen Gesteinen aufgebauten Hochgebirgsgegenden Skandinaviens nur schwer ausführbar sein.

Überschiebungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Von **Bailey Willis.**

I. Definition des Begriffes.

Überschiebung ist die Bezeichnung für eine große Klasse von Erscheinungen in den Vereinigten Staaten; man versteht darunter den Vorgang, daß eine Gesteinsmasse mit Bezug auf eine andere in solcher Weise bewegt wird, daß die obere über die untere hinübergeschoben wird. Bekanntlich hat man in der Literatur für diese Erscheinung viele andere Ausdrücke gebraucht, wie: *Reversed faults*, *faulle inverse*, *over-fault* *overlap fault*, *upthrow fault*; *fold fault*, *pli-faille*, *pli-faille inverse*, *Faltenverwerfung*, *chevauchements*, *thrust*, *overthrust*, *decrochements horizontaux*, *lambeaux de recouvrement* und *nappes de charriage*. In den Vereinigten Staaten wird jetzt das Wort *overthrust* oder *thrust* gewöhnlich gebraucht.

Es wird angenommen, daß Überschiebungen das Werk von tangentialen Kräften seien und wir können bei ihnen wenigstens drei Unterklassen unterscheiden:

1. Überschiebungen, bei welchen die Trennungsfläche unabhängig ist von älteren Strukturen:

2. Überschiebungen, welche durch frühere Falten und Lagerung der Gesteine bedingt sind, und

3. solche, welche durch Lagerung und Erosion verursacht werden.

Diese drei Typen sind in der Literatur beschrieben und man kann in den Vereinigten Staaten Beispielen eines jeden dieser Typen begegnen. Sie werden im folgenden kurz beschrieben. Vorerst will ich jedoch die charakteristischen Merkmale eines jeden Typus erwähnen.

1. Ursprüngliche oder unabhängige Überschiebungen, Scissions- oder Scherungsüberschiebungen.

Die Überschiebungen, für welche hier der Name Scherungsüberschiebungen (*Scissions-thrusts*) vorgeschlagen wird, sind durch eine ausgedehnte Trennungsfläche gekennzeichnet, welche unter einem kleinen

Winkel zur Horizontalen geneigt ist und welche die Gesteine ganz unabhängig von älteren Strukturen durchzieht. Sie kommen gewöhnlich in Schiefen, in Gneis und in Granit vor. Es ist damit manchmal Metamorphose der Gesteine, Umkristallisation und Entwicklung von Schieferung verbunden. Hieraus muß geschlossen werden, daß diese Art der Überschiebungen in der Zone sich ereignet, in welcher die Gesteine durch großen Druck plastisch sind: in der Plastizitätszone, der Zone von „rock flowage“. Die typische Lokalität der Vereinigten Staaten für diese Art Überschiebungen liegt in den südlichen Appalachien, nämlich in den sogenannten Smoky mountains, deren Überschiebungen seit 18 Jahren von Keith bearbeitet worden sind. Seine Forschungsergebnisse sind zum großen Teil noch nicht veröffentlicht, aber eine kurze Beschreibung ist in dem Cranberry-Folio des geologischen Atlas enthalten und die Tatsachen von ihm in dem nächsten Artikel kurz zusammengefaßt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Strukturen, welche Keith in den Smoky mountains beobachtet hat, denen der schottischen Gebirge ganz ähnlich sind und daß die schottischen Beispiele, welche zuerst beschrieben worden sind, als die typischen angesehen werden müssen.

2. Faltenüberschiebungen oder pli-failles oder fold-thrusts.

Eine zweite Unterklasse der Überschiebungen ist mit Falten so eng verbunden, daß man sie wohl als fold-thrusts bezeichnen kann. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nur in gefalteten Sedimenten vorkommen, und zwar gewöhnlich bei einer überschobenen Antiklinale zwischen den zwei parallelen Schenkeln der Antiklinale und der benachbarten Synklinale. Zertrümmerung ist gewöhnlich die damit verbundene Struktur, aber es kann auch geschehen, daß Schieferung dabei gebildet wird. Unter diesen Umständen ergibt sich, daß Überschiebungen dieser Klasse in derjenigen Zone entstehen, wo die Gesteine zum Teil plastisch, zum Teil fest sind, je nachdem ihr Zustand durch das Verhältnis des Druckes zu der Festigkeit bedingt wird; sie entstehen nur nach der Entwicklung von Falten, aus welchen sie sich ergeben. In den Vereinigten Staaten kommt dieser Typus in der Appalachien-Provinz vor und namentlich im Great Valley von Pennsylvania, Virginia, Tennessee, Georgia und Alabama. Sie wurden hier von dem berühmten Geologen Rogers schon im Jahre 1841 beschrieben und spätere Untersuchungen haben seine Beobachtungen nur bestätigt. Man findet die Faltenüberschiebungen auf großartige Weise in dem Arkansas-Indian-Territory entwickelt und sie sind überhaupt am weitesten verbreitet.

3. Erosionsüberschiebungen oder oberflächliche Überschiebungen, surface-thrusts.

Überschiebungen der dritten Unterklasse sind dadurch ausgezeichnet, daß eine topographische Ebene sich als Trennungsfläche der Überschiebung ununterbrochen fortsetzt oder früher fortgesetzt hat. Es kann zwar geschehen, daß die topographische Ebene durch spätere Erosion zerstört worden ist und man sie nur durch Rekonstruktion zu erkennen vermag, aber die Struktur wird durch diese spätere Entwicklung der Landschaft nicht verändert. Solche Überschiebungen entstehen natürlich nur an der Erdoberfläche, und zwar unter der Bedingung, daß eine starre, flach geneigte Ablagerung von tiefem Drucke vorwärts bewegt wird. Es wurde schon durch Experimente von Willis gezeigt, daß solche Überschiebungen wohl vorkommen und tatsächlich wurden sie später in den südlichen Appalachen von Hayes entdeckt. Im Jahre 1901 hat Willis eine solche Überschiebung von großen Dimensionen aus dem westlichen Montana beschrieben.

II. Allgemeine Verhältnisse in den Vereinigten Staaten.

1. Geographische Verbreitung.

Überschiebungen von bemerkenswerter Größe kommen in drei Provinzen der Vereinigten Staaten vor: in der Appalachen-Provinz, im Arkansas-Indian-Territory und in dem nördlichen Felsengebirge. Sie sind auch als untergeordnete Erscheinungen mit Falten in jenen Gebieten gefunden worden, wo Falten eng gedrängt sind, wie im Lake Superior-Distrikt, in dem Joplin-Missouri-Distrikt, in den gesamten Felsengebirgen, in dem Great Basin und in den Coast Ranges in Californien, Oregon und Washington.

2. Geologische Verhältnisse.

Arten von überschobenen Gesteinen.

Wir können behaupten⁴¹, daß in den Vereinigten Staaten die verschiedensten Gesteinsarten von Überschiebungen betroffen worden sind, wenn wir nicht mit den vulkanischen Felsen eine Ausnahme machen müssen. In einer oder der anderen Provinz sind Granit, Gneis, kristallinische und andere Schiefer, das heißt Eruptivgesteine, metamorphosierte Gesteine und Sedimentgestein, mehr oder weniger überschoben. Daraus folgt, daß die Überschiebungen vom Gesteinscharakter ganz unabhängig sind.

Die mit den Überschiebungen verbundenen Strukturen.

Überschiebungen kommen nur in denjenigen Distrikten vor, in welchen es andere Strukturen gibt, die unter tangentialen Drucke stehen. Mag sich der Druck durch Schieferung oder Faltung kenntlich machen — immer ist eine oder die andere dieser Strukturen in hohem Grade entwickelt, wenn Überschiebungen vorkommen, das heißt die Überschiebungen kommen nur da vor, wo ein Teil der Erdrinde zu engerem Raume zusammengepreßt worden ist. Man kann hierbei unterscheiden die Strukturen, welche 1. unabhängig, und zwar gewöhnlich älter als die Überschiebungen sind; 2. solche, welche als unmittelbare Ursache der Überschiebung angesehen werden müssen, wie zum Beispiel die Falten bei den Faltenüberschiebungen, und 3. solche, die aus den Überschiebungen sich ergeben. Es kann auch vorkommen, daß die Trennungsfläche einer Überschiebung verschoben oder gefaltet worden ist und dabei die Struktur kompliziert wird. Diese Strukturen sind schon kurz angedeutet worden in der Beschreibung der drei Typen und es ist nicht nötig, die Beschreibung jetzt weiter auszuführen.

Epochen von Überschiebungen.

Die Überschiebungen der Vereinigten Staaten kann man in zwei Epochen gruppieren: Erste Periode: diejenige der Appalachen-Provinz sowie auch die des Arkansas-Indian-Territory gehören wahrscheinlich alle zu der Epoche der sogenannten „Appalachian-Revolution“, welche nahe dem Ende der Carbonperiode stattfand; die Überschiebungen in dem nördlichen Felsengebirge müssen aber als tertiär angesehen werden und sind wahrscheinlich eocänen Alters. Diese Verteilung stimmt mit der der hauptsächlichlichen Epochen von Kompression der Erdrinde in Nordamerika überein. Weniger bemerkenswerte Überschiebungen sind wahrscheinlich vor dem carbonischen Zeitalter sowie auch viel später bis ins Pliocän vorgekommen.

Man darf nicht verallgemeinern und annehmen, daß sich alle Überschiebungen in der Appalachen-Provinz am Ende der carbonischen Periode entwickelten; denn unter den Überschiebungen dieser Provinz sind alle drei Typen vertreten und die verschiedenen Klassen sind zweifellos nicht zu gleicher Zeit entstanden. Man weiß aber bis jetzt noch nicht, ob zwischen ihnen lange oder kurze Intervalle liegen. Die Scherungsüberschiebungen (Scissions-thrusts) sind gewiß die ältesten. Es ist bekannt, daß sie Ablagerungen von cambrischem Alter durchschneiden und daß diese zur Zeit, wo sie überschoben wurden, tief in der Erde begraben waren. Jetzt sind die Sedimente, welche

über ihnen lagerten, erodiert worden und man kann nur vermuten, daß sich vielleicht Sedimente der carbonischen Periode darunter befanden. So kann man mit Gewißheit nur sagen, daß diese Scherungsüberschiebungen jünger sind als das Cambrium. Andererseits aber sieht man, daß die Überschiebungen selbst gefaltet wurden, nachdem sie sich gänzlich entwickelt hatten, und daß diese Faltung von demselben Charakter ist und zu derselben Zeit entstanden ist, wie die wohlbekanntere Faltung des Paläozoikums im Great Valley. So ist es gewiß, daß die alten Scherungsüberschiebungen älter sind als die Faltung, welche der Appalachenrevolution angehört, und es kann wohl sein, daß sie als die ersten Ereignisse dieser Revolution anzusehen sind. Die Überschiebungen, welche mit Falten vorkommen und welche mit denselben ursächlich verbunden sind, sind zwar jünger als die erste Entwicklung der Falten, aber sie sind unmittelbar mit ihren späteren Phasen entstanden. Die großen Überschiebungen, welche Hayes unter dem Namen Rome- und Carterville-thrusts beschrieben hat, sind jünger als die Faltung des Paläozoikums, denn sie wurden dadurch verursacht, daß sich über der gefalteten Zone eine topographische Ebene entwickelt hatte und der Rand des mächtigen, starren, cambrosilurischen Kalksteines bloßgelegt worden war. Die Kalklage wurde dann auf diese topographische Ebene vorgeschoben und bei dieser Bewegung oder später wurde die Überschiebungsfläche sanft gefaltet. Diese Überschiebungen kann man also als die letzte Tätigkeit der Appalachenrevolution ansehen.

3. Die mechanischen Bedingungen von Überschiebungen.

Natur des Druckes.

Der Druck, unter welchem eine Überschiebung entsteht, ist immer durch zwei Kräfte, welche einander entgegengesetzt sind, aber sich nicht unmittelbar gegenüberstehen, hervorgerufen. Die Tatsachen, die man bei den Überschiebungen erkennt, beweisen, daß Kräfte, welche in der geschilderten Weise gegeneinander wirken, in der tieferen Zone der Erdkruste sich entwickeln, wo die Gesteine plastisch sind, in der Zone, wo die Gesteine biegsam sind, und auch in der oberflächlichen Zone bis zur äußersten Oberfläche.

Schieferung und Überschiebung.

Da in der tiefen Zone der Plastizität die Überschiebungen immer mit Schieferung eng verbunden sind, so scheint es, daß beide Strukturen aus einer gemeinsamen tangentialen Bewegung entstehen

können. Die Bedingungen dieser Bewegung sind wenig bekannt und liegen vielleicht außerhalb der Grenzen dieses Vortrages, aber ich werde mir später erlauben, Ihnen hierüber einige Anschauungen vorzulegen. Zunächst kommt es nur darauf an, zu sagen, daß die Schieferung und Überschiebung die Ergebnisse der gleichen Kräfte sind und daß wohl die Überschiebung aus der Schieferung erfolgen kann; im letzteren Falle ist die Bewegung, welche sonst durchaus in einer großen Gesteinsmasse verbreitet war, auf eine bestimmte Ebene konzentriert

Bedingungen der Faltenüberschiebungen.

In Beziehung auf die Überschiebungen, welche mit den Falten eng verbunden sind, also die Faltenüberschiebungen, muß man die Gesetze der „kompetenten Struktur“ sich vorhalten. Unter „kompetenter Struktur“ wird jene Struktur verstanden, bei deren Entwicklung die Schichtenlagen fähig sind, die auf ihnen ruhende Last in einer gewissen Richtung in Bewegung zu setzen, ohne in hohem Grade einen Druck in andere Richtungen auszuüben. Man kann sich also die kompetente Struktur als den Gegensatz der plastischen Struktur vorstellen. Bei der kompetenten Struktur spielen die Schichtbänke eine wichtige Rolle, indem eine jede von ihnen als ein Glied anzusehen ist, das mehr oder weniger von den anderen unabhängig den Druck in der Richtung der Schichtung fortsetzt. In einem mächtigen Komplex von Schichten gibt es immer einige, die in dieser Hinsicht fähiger sind als die anderen mit ihnen vorkommenden Schichten und die die Entwicklung der Struktur bestimmen; es sind solche, nach welchen sich Ort und Neigung einer Überschiebung richten. Die Überschiebungsebene liegt gewöhnlich ihren Schichtflächen parallel und kommt zwischen den zwei parallelen Schenkeln einer überschobenen Antiklinale und der benachbarten Synklinale vor. Die zwei entgegengesetzten, aber nicht unmittelbar einander gegenüberstehenden Kräfte werden durch diese Schenkel ausgeübt, wobei die dazwischen liegenden Schichten gebrochen, zerrissen oder ausgedehnt werden, je nach ihrer Festigkeit und der Größe der Last. Es versteht sich von selbst, daß zwischen der Plastizitätszone und derjenigen der kompetenten Struktur keine scharfe Grenze liegen kann. Kalkstein und Quarzit sind fest und tragfähig in der Tiefe, wo Mergelschiefer plastisch und nicht tragfähig ist; deswegen kommt es vor, daß Strukturen, welche der Plastizitätszone angehören, sich in einer Schichtbank entwickeln, während die benachbarten festeren Schichten tragfähige Antiklinalen gebildet haben. Diese Verhältnisse sind für die Entwicklung von Faltenüberschiebungen sehr günstig.

Bedingungen der oberflächlichen Überschiebungen.

Die mechanischen Bedingungen der oberflächlichen Überschiebungen bestehen darin, daß eine starre Schichtbank oder irgendein anderes Glied der Erdkruste, das sich durch Starrheit besonders auszeichnet, einen Druck in einer Richtung ausübt, von der kein Widerstand entgegengesetzt wird. Dieses Verhältnis entsteht beim Auftauchen der geneigten starren Schicht aus der Tiefe an die Oberfläche und wird gewöhnlich durch die Erosion einer sanft gefalteten Schichtenlage hervorgerufen. Da werden die zwei entgegengesetzten Kräfte durch die starre Schichtenlage im oberen Teile und durch die liegende Erdmasse ausgeübt. Man erkennt also eine solche Überschiebung nicht nur an den ungewöhnlichen Verhältnissen der hangenden und liegenden Schichten, sondern auch durch die Fortsetzung der Überschiebungsebene in einer topographischen Ebene.

Verhältnis der drei Arten von Überschiebungen zueinander.

In der Appalachen-Provinz, wo alle drei Arten von Überschiebungen entwickelt sind, wird, wie wir schon gesehen, durch die Tatsachen der Faltung und der Erosion mit Sicherheit erwiesen, daß sie sich in einer gewissen Ordnung entwickelt haben, namentlich daß die tiefen Überschiebungen die ältesten und die oberflächlichen Überschiebungen die jüngsten sind. Daraus ersieht man, daß die Bewegung in der Tiefe entstanden ist und daß sie in der Richtung der tiefen Überschiebungen, namentlich von Südosten nach Nordwesten, stattgefunden hat. Wenn man aus diesen Verhältnissen einer einzelnen, aber großen Provinz eine Schlußfolgerung ableiten darf, so wird man annehmen müssen, daß die oberflächlichen Überschiebungen als spätere Folge der Faltung entstanden sind, daß die Faltungsüberschiebungen unmittelbar aus der Faltung sich ergeben haben und daß die tiefen Überschiebungen die Faltung und die damit verknüpften Faltungsüberschiebungen verursacht haben. Wir sind dadurch zu einer tiefliegenden Ursache der ganzen Bewegung zurückgeführt. Diese Ansicht ist nicht neu, aber die Arbeiten von Keith haben uns neue Beweise für dieselbe gegeben.

4. Überschiebungen und Paläogeographie.

Allgemeines.

Wenn man die Überschiebungen nicht als zufällige Ereignisse, sondern als gesetzmäßige Folgen gewisser ihnen vorausgehender Bedingungen ansieht, so ist man bei der Erforschung dieser Bedingungen auf die Paläogeographie angewiesen. Denn die Verteilung von Land

und Meer, von Gebirge und Ebene entspricht der Wirkung der Erdkräfte, welche wir im allgemeinen kennen müssen, wollen wir einzelne Resultate auf ihre nächsten Ursachen zurückführen.

Für die drei Provinzen der Vereinigten Staaten, in welchen die Überschiebungen auf großartige Weise entwickelt sind, sind die hauptsächlichsten Tatsachen der Paläogeographie bekannt.

Paläogeographische Züge der drei Provinzen.

In der Appalachen-Provinz war während eines großen Teiles der paläozoischen Periode das Verhältnis von Land und Meer ein solches, daß eine Strandlinie oder vielmehr Strandzone sich von Nordost nach Südwest viele hundert Kilometer weit hinzog. Das Land lag im Osten, das Meer im Westen dieser Zone. Das Land wurde wiederholt im Verhältnis zum Meeresniveau gehoben und erodiert. Der Seeboden ist in noch größerem Maße gesunken und mit Sedimenten verschüttet worden. Aus der bekannten Mächtigkeit der Sedimente und der geschätzten Tiefe der Denudation kann man ungefähr bestimmen, daß irgendeine Fläche, zum Beispiel die Oberfläche des Kontinents, welche zu Anfang dieser entgegengesetzten Bewegung eine Ebene bildete, am Ende derselben entlang der Strandzone geteilt, und zwar der westliche Teil 4500 bis 14.000 *m* tiefer gesunken war als der östliche. Infolge dieser vertikalen Bewegung ist das Verhältnis zweier großen Massen der Erdoberfläche ganz verändert worden. Im Osten der Strandzone sind metamorphosierter Schiefer, Gneis und Granit aus der Tiefe ans Licht gekommen. Im Westen derselben sind fast horizontale biegsame Sedimentablagerungen als ein Strukturelement an Stelle spröder Massen getreten.

In dem Arkansas-Indian-Territory sind die Grundzüge der Paläogeographie derjenigen der Appalachen-Provinz so ähnlich, daß man sie nicht nur als parallel, sondern eher als identisch ansehen muß. Eine Strandzone, die eine Ostwestrichtung hatte, verlief zwischen einer Landmasse im Süden und einem Meeresbecken im Norden. Die relative Erhebung der südlichen Masse und die Senkung der nördlichen haben hier, wie in den Appalachen, eine Veränderung der Struktur der Erdrinde verursacht.

Der Distrikt der Überschiebungen im nördlichen Felsengebirge liegt zum Teil am westlichen Rande der Ablagerungen des cretazischen Meeres, zum Teil wahrscheinlich in dem westlich von diesem Meere gelegenen Lande, das aus carbonischen und präcambrischen Schichten besteht. Dieser Distrikt ist bis jetzt nicht mit solcher Genauigkeit kartiert und geologisch untersucht worden, daß man diese Verhältnisse

mit Sicherheit beschreiben könnte. Doch ist es sicher, daß die Überschiebungen da entstanden sind, wo eine längst erodierte, d. h. relativ erhobene Masse an eine tief verschüttete, d. h. gesunkene Masse stößt.

Schluss.

Wenn man die paläogeographische Geschichte der drei Provinzen vergleicht und die später entwickelten Strukturen studiert, so muß man zu dem Schlusse gelangen, daß große vertikale Bewegungen der Erdrinde, welche die eine von zwei benachbarten Massen der Erosion preisgeben und die andere tief unter deren Trümmern verschütten, für die Entwicklung von Überschiebungen günstige Bedingungen herstellen.

5. Hypothesen.

Verschieden belastete Zonen.

In dem Vorausgehenden haben wir mehrmals von verschiedenen belasteten Zonen gesprochen. Darin folgten wir den schon vor 30 Jahren veröffentlichten Ansichten Heims und den später völlig motivierten Schlußfolgerungen Van Hise's. Wir möchten aber darauf aufmerksam machen, daß die Gesteinsmassen in den einzelnen Zonen sich einem tangentialen Drucke gegenüber in ganz verschiedener Weise verhalten, und zwar je nachdem sie sich in der Zone der Plastizität oder in derjenigen der Festigkeit und des Bruches befinden.

In der tiefen Zone der Plastizität unter überwältigender Last sind Gesteinsmassen so aneinander gedrückt, daß sie irgendwelche Selbständigkeit, die sie sonst besitzen könnten, in hohem Grade oder gänzlich verlieren. Eine Masse, aus Granit, aus kristallinischem Schiefer oder aus Schichtgesteinen bestehend, ist an die benachbarten Massen so gepreßt, daß die verschiedenen selbständigen Strukturen bei der Umformung -- Deformation -- von keinem Einflusse sind. Da in dieser Zone sich die Gesteine durch Belastung in einem plastischen Zustande befinden, während sie doch ebenso stark oder stärker sind als unter leichter Last, so müssen sie allmählich einen tangentialen Druck in allen Richtungen ausüben und deswegen wird eine langsam zunehmende Kraft endlich in der horizontalen Richtung eine Bewegung dort hervorrufen, wo der Widerstand am schwächsten ist; und weiter: da die Oberfläche frei ist, wird die horizontale Kraft sich mit einer vertikalen Komponente verbinden und die Richtung der Bewegung wird eine schief aufwärts steigende sein.

Ganz anders sind die Bedingungen der Umformung in der Zone der festen und bruchfähigen Gesteine. Da ist jede verschieden gestaltete

Gesteinsmasse selbständig. Eine Granitmasse verhält sich als Massiv; Schiefer weichen an den Schieferungsebenen aus; Schichtgesteine bewegen sich mehr oder weniger unabhängig, ein jedes die Faltung oder Verschiebung erleidend, die seine Festigkeit und seine Umgebung bestimmen. Daraus folgen große Ungleichheiten der Widerstandsfähigkeit und wenn diese verschiedenen Massen durch relative Hebung und Senkung nebeneinander gebracht werden, so ergibt sich, daß in der Zone der Festigkeit und des Bruches in den verschiedenartigen Gesteinsmassen die Umformung in sehr ungleichem Maße auftritt.

Man kann das Verhältnis der zwei Zonen so auffassen, daß man sagt: In der tiefen Zone der Plastizität sind allerlei Gesteinsmassen einem horizontalen Drucke gegenüber ungefähr gleich widerstandsfähig und zusammengenommen kann man sie in dieser Hinsicht als homogen ansehen. In der relativ oberflächlichen Zone der Festigkeit und des Bruches verhalten sich verschiedenartige Gesteine einem horizontalen Drucke gegenüber sehr ungleich und man muß sie in dieser Hinsicht als heterogen bezeichnen.

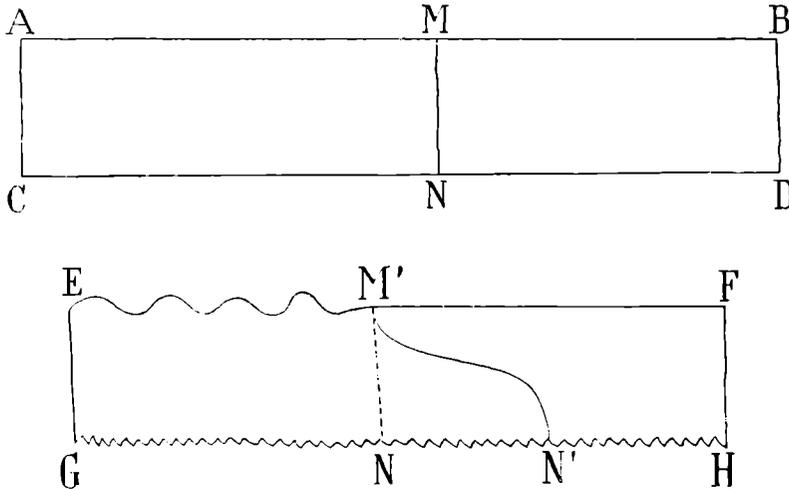
Aus diesen hypothetischen, aber auf Tatsachen wohlgegründeten Betrachtungen dürfte folgen, daß der tangentielle Druck der Erdkräfte in der Tiefe sich als eine allgemeine Erscheinung, gegen die Oberfläche aber sich als eine beschränkte erweist. Die allgemeine Verbreitung der Schieferung in den aus der Tiefe aufgetauchten Gesteinen und die auf Gebirgsstrecken beschränkte Faltung der metamorphosierten Schichten sind Tatsachen, welche dieselbe Bedeutung haben.

Mechanismus der Überschiebungen.

Wenn man zwei Linien AB und CD in eine Länge EF und GH zusammendrängt und die eine derselben EF in verschiedenen Teilen ungleichmäßig, die andere aber durchaus gleichmäßig verkürzt wird, so wird eine beliebige zwischen ihnen verlaufende Linie MN verbogen und zu $M'N'$ ausgezogen. Als dieser einfache Vorgang stellt sich nach dem Vorausgegangenen der Mechanismus der Überschiebungen dar. AB und EF können die Zone der Faltung vorstellen, CD und GH die gleiche Strecke in der Zone der Plastizität. Tritt nun die Bewegung von MF über NH in der Fläche $M'FHN'$ ein, so entsteht schief geneigte Schieferung; ist sie auf eine gewisse Ebene konzentriert, so erfolgt eine Überschiebung.

Im südlichen Appalachiengebiet ist eine Schichtenbreite von 100 englischen Meilen (AM) auf 65 oder weniger Meilen (EM') gedrängt. Aus dem Verhältnis der Überschiebungen und der Falten ergibt sich, wie schon erwähnt, der Schluß, daß eine östlich liegende Masse

(MP) sich nach Nordwest bewegt hat, und zwar nach den obigen Zahlen auf eine Entfernung von wenigstens 35 Meilen. Dabei ist eine Überschiebung von 20 Meilen (NN'), wie sie Keith ungefähr bestimmt hat, sehr wahrscheinlich und kann diese Ziffer wohl noch übersteigen.



Indem ich diese kurze und unvollständige Darstellung schließe, möchte ich nur darauf Gewicht legen, daß die Überschiebungen in den Vereinigten Staaten sich auf gesetzmäßige Weise entwickelt zu haben scheinen und daß sie sich durch die Erkenntnisse der Paläogeographie, des Mechanismus der Umformung und der geophysikalischen Verhältnisse erklären lassen werden.

Bibliographie der Überschiebungen in den Vereinigten Staaten.

- Campbell, M. R. U. S. Geological Atlas. Folios: Pocahontas, Tazwell, Bristol.
 Dale, T. N. Structural details in the Green Mountain region and in eastern New York. Sixteenth Annual Report. U. S. Geol. Survey. Part. 1, pp. 549—570.
 Darton, N. H. Descriptions of overthrusts occurring in eastern New York, in: Forty seventh Annual Report, New York State Museum, pp. 393—422, 425—455 and 604—623.
 Forty eighth Annual Report, New York State Museum. Vol. II, pp. 33—53.
 Bull. Geol. Society of America. Vol. V. 1894, pp. 367—394.
 Bull. Geol. Society of America. Vol. IV. 1893, pp. 436—439.
 Descriptions and maps of overthrust in Virginia, in U. S. Geological Atlas Folios 14, 32 and 6.

- Diller, G. S. Geology of the Taylorville Region, California. Bull. Geol. Soc. of Am. Vol. III. 1892, pp. 392 and 393.
- Hayes, C. W. The overthrust Faults of the Southern Appalachians. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. II. 1891, pp. 141—154.
Geology of a portion of the Coosa Valley in Georgia and Alabama. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. V. 1894, pp. 473—478.
- Hayes, C. W. and B. Willis. Conditions of Appalachian Faulting. Am. Journ. of Science. 3. series. Vol. XLVI. 1893, pp. 257—268.
Overthrusts of southeastern Tennessee described and mapped in U. S. Geol. Atlas. Folios: Cleveland, Chattanooga, Gadsden, Stevenson, Ringgold and others.
- Keith, Arthur. Geology of Chilhowee Mountain, Tennessee. Bull. Wash. Phil. Soc. Vol. XII. 1892, pp. 71—88.
Geology of the Catoctin Belt. Fourteenth Ann. Report U. S. Geol. Survey. 1894, pp. 285—395.
Geological Atlas of the United States. Folios 10, 16, 25, 27, 33, and Cranberry.
- Lesley, J. P. On the Faults of southern Virginia. Proc. Am. Philo. Soc. Vol. XIX. 1882, pp. 155 and 156.
- McConnell, R. G. Report on the geol. structure of a part of the Rocky Mountains. Canada Geol. & Nat. Hist. Survey Report 1886. Part D. Montreal 1887.
- Rogers, H. D. and W. B. On the Physical Structure of the Appalachian Chain. as exemplifying the Laws which have regulated the Elevation of Great Mountain-Chains, generally. Rep. of the Assoc. of Amer. Geologists and Naturalists. Boston 1843.
- Rogers, H. D. On the laws of structure of the most disturbed zones of the earths crust. Geol. of Penn. Vol. II. 1858, pp. 885—916.
- Shaler, Woodworth and Foerste. Overthrust Phenomena in the Narragansett Basin. Monograph XXXIII. U. S. Geol. Survey, pp. 25—27.
- Willis, Bailey. Mechanics of Appalachian structure. Thirteenth Ann. Report. U. S. Geol. Survey. Part II.
- Willis, Bailey and Hayes. Conditions of Appalachian Faulting. Am. Journal of Science. 3. series. Vol. XLVI. 1893, pp. 257—268.